Universidade Federal de Sergipe
Campus Prof. Alberto Carvalho
Departamento de Física

Guia de Experimentos de Laboratório de Física C

Elaborado pelo Professor:
Cristiano Teles de Meneses

Itabaiana/SE, 2018

Este guia auxiliará o aluno ou grupo de alunos a realizar, de forma independente, seus experimentos e a confecção dos relatórios. Este guia possui orientações, de maneira introdutória, de como elaborar um relatório, assim como descrição sucinta sobre 9 experimentos de ondas e óptica.

Espera-se que as atividades experimentais direcionem os alunos a desenvolver sua capacidade de observação, análise e compreensão de fenômenos ondulatórios e ópticos. Estas habilidades adquiridas irão proporcionar uma melhor formação profissional, seja do ponto visto crítico quanto da aptidão a diagnóstico experimental.

Assim, os trabalhos aqui abordados terão a finalidade ilustrar alguns conteúdos abordados no curso teórico (Física C) como também de ensinar o uso de alguns instrumentos que serão utilizados para observar alguns fenômenos físicos ou confirmar alguns modelos teóricos, além de fazer com que o aluno aprenda realizar medidas e saiba a apresentar resultados obtidos.

Para realização de cada experimento, o aluno precisará de aproximadamente 2 horas. Os experimentos devem ser realizados em grupos de no máximo 4, sempre que possível. A participação de vários alunos na execução do experimento é importante para permitir a troca de informações por meio da discussão do conteúdo entre os componentes do grupo. E, para que esta discussão seja possível, e também para que o experimento seja conduzido com sucesso, é muito importante que o aluno leia o material antes do início de cada experimento e que fique com este material em mãos durante toda a aula.

Sumário

Experimento 1: Oscilações em um Sistema Massa Mola

1. Introdução

Nesta experiência analisamos o sistema massa-mola. Modelo extremamente importante para a o estudo de fenômenos oscilatórios, pois é usado como uma boa aproximação para oscilações de pequenas amplitudes. Muitos fenômenos naturais apresentam padrões temporais repetitivos. A repetição periódica de ida e volta do movimento dá origem ao movimento oscilatório ou movimento harmônico. Neste tipo de movimento chama-se de: **período** (T) o tempo que dura uma repetição periódica de ida e volta, frequência (f = 1/T) o número de oscilações em um segundo e Amplitude (A) o deslocamento máximo a partir de um ponto fixo definido como a origem do movimento.

A Figura 1 mostra um esquema para representar um experimento de oscilação massa-mola, a representação das forças atuando sobre o sistema.

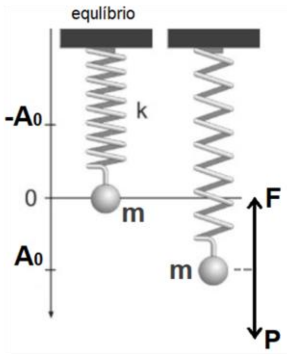


Figura 1. Representação de um sistema massa-mola.

Com uma boa aproximação podemos considerar que quando a massa é deslocada de sua posição de equilíbrio, por aplicação de uma determinada força, a mola exerce uma força proporcional à distância até a posição de equilíbrio, chamada de força elástica. Essa relação é conhecida como a Lei de Hooke, expressa pela equação $F = -ky$, em que k é a constante elástica da mola e y é o deslocamento sofrido pela deformação. Porém no caso em particular, mostrado na Figura 1, a força exercida sobre a mola é expressa como a força peso $\boldsymbol{P}$, dado pela expressão $P = mg$. Ao deslocar a massa m, de sua posição de equilíbrio, a mesma oscilará com uma determinada frequência w. Para determinarmos a frequência de oscilação usaremos a força resultante do sistema $\boldsymbol{F}_R$, a qual é dada por:

$$\boldsymbol{F}_R = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{F} = (mg - ky)\boldsymbol{j} \quad (1)$$

Aplicando a segunda lei de Newton e desprezando temos:

$$\boldsymbol{F}_R = \boldsymbol{P} + \boldsymbol{F} = ma\hat{j} = m\ddot{y}\hat{j} = (mg - ky)\hat{j} \quad (2)$$

Portanto,

$$m\ddot{y} + ky = mg \qquad (3)$$

A solução da equação diferencial é:

$$y = A\cos(w_o t - \varphi) + \frac{mg}{k} \qquad (4)$$

onde A é a amplitude do movimento oscilatório e a freqüência angular do movimento w_o é dado por:

$$w_o = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \Rightarrow \quad T_o = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (5)$$

Uma relação para o período em termos da massa m e a constante k da mola

2. Objetivos

Estudar o movimento vibratório através das oscilações num sistema massa-mola e determinar a dependência do período de oscilação de um sistema massa- mola com a massa, e com a constante elástica da mola.

3. Materiais utilizados

- Mola
- Régua
- Conjunto de massas
- Balança
- Cronômetro
- Suporte e acessórios

4. Procedimentos Experimentais

Inicialmente escolha uma mola e anote o valor *k* com sua respectiva incerteza. Sem adicionar massa, dependure-a no suporte de forma similar ao apresentado na Figura 1. **Cuidado! Ao realizar as experiências a seguir tome sempre o cuidado para não deformar definitivamente as molas, evitando pendurar massas excessivas e/ou distende-las demais!** Pendure uma determinada quantidade de massa a esta mola e ponha o sistema para oscilar, realizando cuidadosamente uma pequena distensão na mola e depois abandonando a massa. Verifique o que ocorre com a frequência de oscilação quando você distende a mola por diferentes comprimentos. Anote as observações.

Em seguida com o auxílio do cronômetro meça, ao menos 3 vezes, o tempo *t* para o corpo completar 10 oscilações completas. Monte uma tabela anotando também a massa do corpo. Não esqueça das incertezas! Ao finalizar as 3 medições, repita a operação para outros 4 valores de massa.

Na parte anterior, você estudou a dependência do período T com a massa m, mantendo *k* fixo. Na próxima etapa, a massa *m* deverá ser fixa para que se possa estudar a dependência do período (T) com a constante elástica (*k*). Escolha, então, um certo valor de *m* e anote-o. Pendure esta massa *m* a uma das molas e meça, ao menos 3 vezes, o tempo *t* para que o sistema complete 10 oscilações. Monte uma nova tabela. Repita o procedimento anterior para outras duas molas completando a tabela. Não esqueça de anotar as incertezas, assim como, de lembrar de que o primeiro valor pode ser aproveitado da tabela anterior!

5. Discussão

1. **Dependência com a massa *m***. Com base na primeira tabela, calcule o valor médio do tempo das 10 oscilações *t* e, a partir deste, obtenha o período T para cada valor de massa escolhido.
1.1 Faça, em papel di-log, um gráfico de T x m. Discuta qual deve ser o formato da curva? Por que? Calcule, a partir do seu gráfico, determine dois coeficientes, com suas respectivas incertezas, e compare com os valores esperados. Discuta a exatidão dos
resultados.

2. **Dependência com a constante elástica *k*.** Com base na segunda tabela, calcule o valor médio do tempo das 10 oscilações *t* e, a partir deste, obtenha o período T para cada valor de k escolhido.
2.1 Faça, em papel di-log, um gráfico de *T* x *k*. Qual deve ser o formato da curva? Por que? 13) Quais são os valores esperados para o coeficiente angular e coeficiente linear para a curva do item anterior? Por que? Calcule, a partir do seu gráfico estes dois coeficientes, com suas respectivas incertezas, e compare com os valores esperados.
Discuta a exatidão dos resultados obtidos.

Experimento 2: Cordas Vibrantes

1. Introdução

Dando continuidade ao estudo de movimento oscilatórios. Nesse próximo experimento iremos realizar um experimento utilizando cordas vibrantes. Existem vários instrumentos musicais que utilizam desse assunto para emitir seus sons. A exemplo, o piano, o violão, violino e violoncelo, onde cordas são levadas a vibrar, por diferentes processos para que possam emitir seus sons. No piano, as cordas são postas a vibrar por um sistema de martelos, no violão, pelos dedos do violonista, no violino e violoncelo e outros da mesma família, pela ação de um arco sobre suas cordas. No entanto, para produzir os diferentes sons de uma escala musical se faz necessário a mudar "alguma coisa" que age sobre as cordas.

Vamos analisar as cordas de um violão para identificar do que depende o tom emitido quando vibram. Nele existem, em geral, 6 cordas de **espessuras e materiais diferentes**, identificadas por *mi, lá, ré, sol, si e mi* (de cima para baixo, em ordem decrescente de espessura). Elas são afinadas usando a *cravelha*, impondo-se a **tensão** correta. Numa certa corda, já devidamente tensionada, **tons diferentes são obtidos pela variação do seu comprimento em vibração**, pressionando-a contra os *trates* do braço do violão. Assim, identificamos três parâmetros envolvidos na afinação (ou na obtenção de uma determinada tonalidade de som): a espessura e o material da corda, que podem ser representados pela **densidade, a tensão aplicada e o comprimento**.

Os instrumentos de corda constituem, basicamente, de fios esticados (cordas) presos em ambas as extremidades. Se a extremidade de uma corda esticada e presa oscilar, uma onda periódica se propagará ao longo dela, logo será refletida na extremidade e retornará invertida, em relação à onda incidente. Se continuar a vibrar a corda, e essa vibração atingir uma certa frequência pode acontecer da amplitude ser máxima fazendo com que uma oscilação irá de encontro com a outra. Nesses casos, uma onda estacionária é formada diz-se, então, que vibrador e corda estão em ressonância. O valor desta frequência coincide, para atrito pequeno, com as chamadas frequências naturais ou ressonantes da corda.

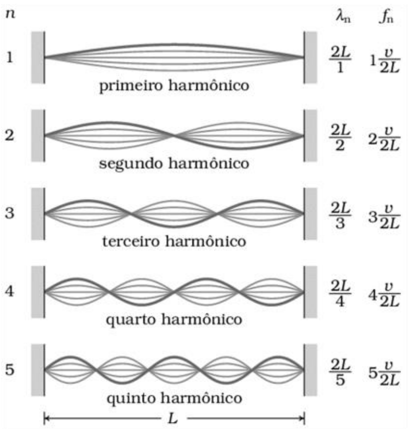


Figura 1. Ilustração de ondas estacionárias em uma corda

Em uma corda fixa, de comprimento L, nas duas extremidades, nestes pontos formam-se nós, ditos naturais, e como consequência, só alguns comprimentos de onda para as ondas estacionárias são possíveis, como pode ser visto na figura 1. Nesse caso, o maior comprimento de onda, λ, possível na corda é $\lambda_1 = 2L$ que pode ser generalizada pela expressão:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad (1)$$

onde n, é um número inteiro, representa o número de ventres da onda estacionária.

A frequência trata-se da quantidade de oscilações da corda em um certo intervalo de tempo. Expressa por:

$$fn = \frac{n}{2L} \cdot v \qquad (2)$$

É chamada de frequência fundamental quando n = 1, para n > 1 obtemos os harmônicos. Onde v é a velocidade da onda na corda dada por:

$$v = fn\,.\,\lambda n \quad (3)$$

A velocidade da onda na corda depende da tensão T e da densidade linear m da corda.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (4)$$

Se fizermos a combinação das expressões (3) e (4), obteremos a frequência própria da corda:

$$fn = \frac{n}{2L}\,.\sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (5)$$

As frequências naturais dos harmônicos, em uma corda fixa pelos extremos são, portanto, múltiplos da sua frequência fundamental de vibração e o valor desta só depende dos parâmetros relativos ao sistema físico: comprimento, densidade linear e tensão. [3]

O experimento realizado trata do estudo do comportamento das ondas estacionárias em uma corda ao serem excitadas por uma frequência externa. A partir de mudanças em algumas características dessa corda, como variações de seu comprimento, tensão a que está submetida e densidade da corda.

2. Objetivos

Verificar a lei que descreve a ressonância de uma corda tensa sujeita a uma força periódica externa e determinar suas frequências naturais - a fundamental e os harmônicos. Verificar a dependência destas frequências naturais com a tração no fio e a sua densidade linear.

3. Materiais utilizados (numeração para identificação na Figura 1)

1. Cordas de nylon com diferentes densidades;
2. Dinamômetro;
3. Gerador de tensão (ondas) e frequencímetro;
4. Plataforma com altura ajustável e trena;
5. Cravelha para fixação da corda;
6. Roldana;

4. Procedimentos Experimentais

1. Escolha uma corda de uma determinada densidade linear (μ) (sugestão: corda com μ intermediária) e monte ela sobre o suporte prendendo-o à cravelha, em uma das extremidades e passe pela roldana fixando a outra extremidade ao dinamômetro. Aplique uma tensão sobre a corda e anote esse valor.

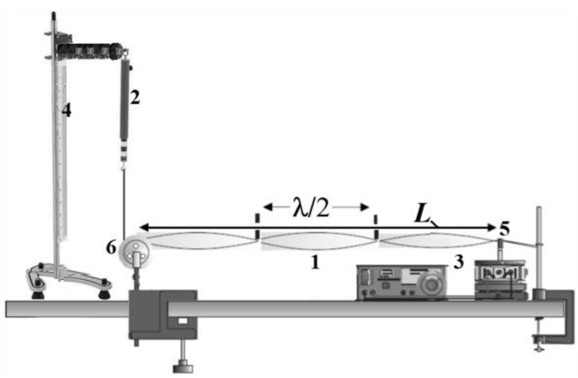


Figura 1. Ilustração de um aparato similar ao utilizado nesse experimento.

2. Ajuste a distância entre a cravelha e a roldana para cerca de 1,00 a 1,50 m, definindo assim o comprimento L da corda. Anote o valor exato desta distância e sua incerteza.
3. Ajuste a posição do autofalante para que ele fique a cerca de 10 cm da cravelha, bem como a altura da plataforma que o sustenta. A haste do autofalante deve tocar levemente a corda sem forçá-la, enquanto em repouso.

4. Conecte às saídas do gerador de tensão o autofalante e o frequencímetro. Ligue o gerador e aumente a intensidade de vibração até o máximo. Anote as observações.

1a Parte: Freqüências naturais de vibração

1a.1. Partindo de frequência bem baixa, aumente-a lentamente e observe o que acontece com a corda.

1a.2. Meça agora, pelo menos 3 vezes para cada *n*, as frequências f_n, a frequência dos harmônicos, em que ocorre a ressonância em função de *n*, o número de ventres na corda. Construa uma tabela com esses dados.

2a Parte: Dependência da frequência fundamental com o comprimento da corda.

2a.1. Escolha agora um valor fixo para a tensão na corda (pode ser a mesma do caso anterior), e determine para pelo menos 10 comprimentos diferentes a frequência fundamental da corda. Cuidado para não esticar demais a corda! Para cada comprimento escolhido execute pelo menos 3 medidas de f_1 e anote em uma tabela.

3a Parte: Dependência da frequência fundamental com a tensão da corda.

3a.1. Mantendo a mesma corda e um comprimento constante, aplique diferentes tensões sobre a corda e determine as frequências fundamentais e de 2 outros harmônicos correspondentes. Cuidado para não danificar a corda com o excesso tensão! Construa uma tabela com estes valores.

4a Parte: Dependência da freqüência fundamental com a densidade linear da corda

4a.1. Mantendo agora a tensão na corda e o seu comprimento constantes, meça a frequência fundamental e 2 outros harmônicos a sua escolha para mais 2 cordas com diferentes densidades lineares.

5. Discussão

I. Descreva o que foi observado no item 1a.1 e explique como são formadas as ondas estacionárias na corda.

II. Utilizando os dados do item 1a.2., faça em papel milimetrado um gráfico da frequência como função do número de ventres (f_n x *n*). Qual é a forma esperada para a curva e o que representa seu coeficiente angular? Determine, a partir do gráfico, o coeficiente angular.

III. Com base no resultado do item anterior, qual é a frequência fundamental da corda. Calcule com este valor, a velocidade de propagação das ondas na corda.

IV. Utilizando o valor de obtido no item II e o valor da tensão na corda, calcule o valor da velocidade de propagação das ondas na corda a partir de $v = (T/\mu)^{1/2}$ e compare com o valor experimental anterior. Adote $g = 9{,}81\ m/s^2$.

V. Com os dados do item 2a.1, faça em papel di-log um gráfico de f_1 versus *L*. Como deve ser a forma da curva? O que representa o coeficiente angular? E o "coeficiente linear"? Determine os dois coeficientes e compare com seus valores esperados "teoricamente". Adote novamente $g = 9{,}81\ m/s^2$.

VI. Com os dados do item 3a.1, faça em papel di-log um gráfico de f_1 versus *T*. Adote $g = 9{,}81\ m/s^2$. Como deve ser a forma da curva? O que representa o coeficiente angular? E o "coeficiente linear"? Determine os dois coeficientes e compare com os valores esperados "teoricamente". Utilize o valor de μ da corda.

VII. Utilizando os seus resultados do item anterior e os valores medidos no item 11 para as frequências de ressonância das cordas, faça um gráfico de f_1 versus μ em papel di-log. Como deve ser a forma da curva? O que representa o coeficiente angular? E o "coeficiente linear"? Determine os dois coeficientes e compare com os valores esperados "teoricamente".

Experimento 3: Interferência de Micro-ondas

1. Introdução

É conhecido que, quando duas ou mais ondas atingem simultaneamente um dado ponto de um meio no qual se propagam, este ponto sofre o efeito resultante da soma dos efeitos que cada onda produziria isoladamente naquele ponto. Este fenômeno é denominado interferência. É um fenômeno localizado, sendo restrito ao local onde ocorre a superposição das ondas. Este fenômeno ocorre com qualquer tipo de onda, seja mecânica ou eletromagnética.

Quando duas ondas de mesma frequência se propagam aproximadamente na mesma direção, com uma diferença de fase constante em relação ao tempo, elas podem combinar-se de forma que a amplitude resultante não se distribui uniformemente em toda região do espaço: máxima em certos pontos e mínima em outros. Se as ondas são superpostas possui mesma frequência, mesmo comprimento de onda e amplitude, mas de sentidos opostos, resulta a denominada onda estacionária. Isso ocorre, por exemplo, quando vibrações são produzidas em uma corda esticada com extremidades fixas, como na Figura 1. Nesse caso, as ondas refletidas em cada extremidade superpõem-se àquelas que estão se propagando em sentido oposto e produzem configurações determinadas pela condição de que, em qualquer instante, a amplitude deve ser nula nesses dois pontos, ou seja, as duas extremidades devem ser nodos. Nesse caso, movimentando o anteparo na direção da linha que une à fonte, um ciclo é completado a cada meio comprimento de onda percorrido pelo anteparo conforme mostra a Figura 1. Deste modo a distância entre dois mínimos (ou dois máximos) é igual a meio comprimento de onda.

Para realizar o experimento desta aula será utilizada uma fonte de micro-ondas. As micro-ondas é uma onda eletromagnética, e como as ondas de rádio, podem produzidas por instrumentos eletrônicos. Em geral, elas são utilizadas, principalmente, em comunicações e em sistemas de radar.

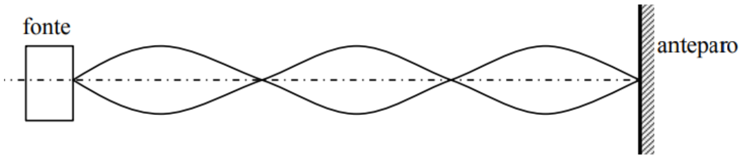


Figura 1. Onda estacionária em uma corda com três ventres e 4 nós.

2. Objetivos

Estudar o fenômeno da interferência e, através dele, determinar o comprimento de onda de um feixe de microondas.

3. Materiais utilizados

1. Emissor de micro-ondas;
2. Receptor de micro-ondas;
3. Gerador de micro-ondas;
4. Voltímetro;
5. Amplificador;
6. Placa semi espelhada;
7. Placa de madeira;
8. Placa com várias fendas (polarizador);
9. Banco óptico;
10. Suporte para banco óptico.

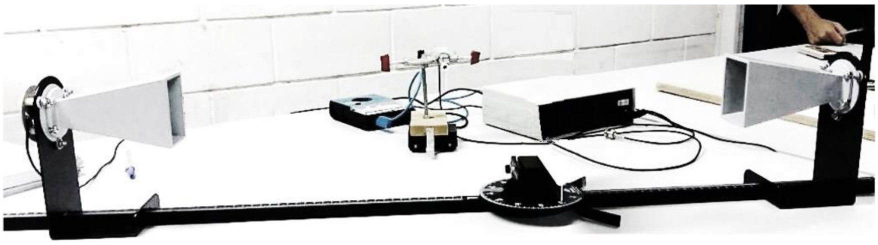


Figura 2. Aparato experimental de micro-ondas.

4. Procedimento Experimental

1. Instale o receptor de micro-ondas a uma certa distância do emissor conforme ilustração da Figura 2;
2. Conecte o emissor ao gerador de micro-ondas, o receptor ao amplificador e este ao voltímetro;
3. Ligue o gerador de micro-ondas e o amplificador, e aguarde um instante até que os equipamentos se estabilizem, após isso ajuste à amplificação. Em seguida, anote o que observaram no voltímetro;
4. Remova o receptor do trilho e mova-o perpendicularmente a este. Anote suas observações e faça suas conclusões com relação ao comportamento das micro-ondas;
5. Fixe uma placa (isolante elétrico) ao trilho entre o emissor e o receptor. Anote suas observações e faça suas conclusões com relação ao comportamento das micro-ondas;
6. Repita o procedimento 5 alterando a placa não condutora para uma condutora elétrica. Anote suas observações e faça suas conclusões;
7. Mantenha a placa condutora e varie o ângulo da placa com relação ao emissor em 30º, 45º, 50º e 60º. Observe e anote qual ângulo do indicador (multímetro) apresenta o maior sinal das micro-ondas e faça suas conclusões.
8. Mantenha a configuração do item 6 e posicione o receptor de micro-ondas entre o emissor e a placa metálica. Varie continuamente a distância do receptor entre a placa e o detector. Observe, enquanto isto, a variação dos valores indicados pelo voltímetro.
9. Repita a variação referida no item anterior, de incrementos adequados, observe os pontos os quais a indicação é máxima ou mínima e anote o número máximo de posições que conseguem visualizar. Atenção! Opte pela posição onde o voltímetro acusa o máximo OU o mínimo. Anote esses valores em uma tabela.

5. Discussão

I. Explique com suas palavras as observações feitas nos procedimentos de 3 a 6.
II. Explique as observações feitas no procedimento 7.
III. Use os valores encontrados no item 8 para traçar um gráfico em papel milimetrado, e a partir dele determinar o comprimento de onda da micro-onda utilizada.
IV. Com os resultados do item anterior determina a frequência da micro-onda e compare com o valor da frequência do gerador que é de 9,4 GHz. Determine o erro percentual e faça suas conclusões do resultado experimental com relação ao resultado esperado.

Experimento 4: Tubo de Kundt

1. Introdução

O tipo do som que instrumentos musicais de sopro podem emitir, tal como no piston, trombone, clarinete ou saxofone, é determinado pelo conjunto das frequências próprias ou naturais de cada um e pela forma pela qual se obtém, por ressonância, a vibração do ar no interior dos tubos dos mesmos. Isto caracteriza o *timbre* do som, peculiar em cada instrumento ao emitirem uma mesma nota. Quanto à forma de obtenção do som, no trombone e no piston ele é conseguido pela vibração dos lábios do instrumentista no bocal, excitando a frequência de vibração desejada, acompanhada destes ou daqueles dos seus harmônicos. Porém, no clarinete e no saxofone quem tem esta função é uma fina palheta de bambu posta a vibrar pelo sopro do instrumentista. Por outro lado, quais frequências são passíveis de excitação depende de certas propriedades do tubo e do ar que o preenche, como fica estabelecido adiante. Nesta experiência estuda-se o comportamento do ar no interior de um tubo cilíndrico quanto às frequências naturais do sistema, através da sua ressonância com uma fonte sonora externa de frequência variável Sabe-se que o som é uma onda que pode ser descrita tanto pelas variações de pressão que provoca no meio em que se propaga, como também pelo deslocamento das partículas deste meio em relação à posição de equilíbrio, oscilação esta paralela à direção de propagação, por isso classificada como onda longitudinal. Sabe-se, também, e pode-se provar, que nesta propagação as rarefações (amplitude da onda de pressão, pequena) e compressões (amplitude da onda de pressão, grande), ocorrem em posições onde os deslocamentos, da onda de deslocamento, tem amplitude grande e pequena, respectivamente.

Considere-se a extremidade aberta de um tubo cilíndrico. Sendo aberta, a pressão nela reinante deve ser sempre a pressão atmosférica, já que as condições de contorno devem ser contínuas - portanto a amplitude de pressão, ou melhor, a sua variação, é mínima, ou zero, (nó de pressão), e consequentemente a amplitude de deslocamento é máxima nesta extremidade (ventre de deslocamento). No caso da extremidade ser fechada, esta obturação impedirá o deslocamento das partículas, resultando alí amplitude de deslocamento mínima, ou zero, (nó de deslocamento), e de pressão máxima (ventre de pressão). Devidamente excitada, a coluna de ar no tubo oscilará, com a formação de uma onda estacionária de grande amplitude, desde que satisfeitas as condições de contorno referidas, e isto, em consequência, limita os possíveis valores do comprimento de onda desta onda, restringindo, portanto, os valores da frequência. A figura ao lado apresenta a variação da amplitude de pressão dos três primeiros modos de excitação do ar num tubo fechado no seu extremo esquerdo. Pode-se demonstrar que, neste caso (veja o primeiro dos desenhos), a onda estacionária de maior comprimento de onda é aquela cujo comprimento de onda é quatro vezes o comprimento do tubo.

Portanto $\lambda_1 = 4L$ (1)

onde L representa o comprimento do tubo. Qualquer dos vários comprimentos de onda possíveis é dado por:

$\lambda_n = \frac{4L}{n}$, n ímpar (2)

Uma vez que a frequência se relaciona com o comprimento de onda e a velocidade através da seguinte expressão:

$v = \lambda . f$ (3)

onde neste caso v é a velocidade do som no ar, combinando (3) com (2) obtém-se para as frequências proprias do tubo:

$$f = \frac{n.v}{4L}, \text{ n ímpar} \qquad (4)$$

Quando n=1 tem-se a menor frequência, chamada fundamental, dada por:

$$f_1 = \frac{v}{4L} \qquad (5)$$

Para n≠1 têm-se os chamados harmônicos, que no caso são somente os ímpares. Combinado (5) com (4) tem-se a expressão:

$$f_n = nf_1, \text{ n ímpar} \qquad (6)$$

2. Objetivo

Verificar a existência de uma relação de números ímpares (inteiros) entre a frequência dos harmônicos e a frequência fundamental em um tubo fechado (aberto) e determinar a velocidade do som no ar.

3. Material Utilizado

- Tubo cilíndrico de vidro
- Microfone
- Gerador de sinais de áudio e frequencímetro digital
- Banco óptico Suportes móveis para banco óptico
- Suportes em "U" especiais para o tubo Autofalante
- Fios, conexões e suportes diversos Rolha perfurada
- Pó de cortiça
- Pá com haste

Figura 1. Ilustração de um aparato similar ao do experimental do tubo de Kundt

4. Procedimento Experimental

1. Meça o comprimento livre do tubo e discuta qual deve ser o valor da frequência fundamental e dos primeiros harmônicos de vibração do ar no tubo usado. Verifique, também, o valor da temperatura ambiente.
2. Distribua, uniformemente, pequena quantidade de pó de cortiça ao longo do tubo. Dê um leve giro no tubo para deslocar a fina camada de cortiça. E com o **tubo fechado**, ligue o gerador de frequências e o frequencímetro, aumente o som e, partindo de 100 Hz, varie lentamente a frequência imposta de modo que passe pelo valor de alguns dos harmônicos do tubo. Faça anotações e esboços das suas observações. E identifique os pontos de nós e ventres.
3. Desligue o gerador (diminua a frequência e com a pá arrume o pó de cortiça no interior do tubo.
4. Baseado no valor que determinou para a frequência fundamental, coloque em uma frequência 40 Hz antes desse valor e varie lentamente a frequência de tal modo que você consiga observar o som mais intenso. Anote os valores da posição e da frequência.

5. Repita o procedimento dos itens 3-4 para novas frequências em que máximo na amplitude da onda estacionária seja obtida. Anote os valores das posições e da frequência.
Nota: O resultado da interferência da onda incidente com a onda refletida num tubo fechado é a formação da **onda estacionária**, caracterizada pelos nós e ventres da sua envoltória. No caso da extremidade aberta do tubo se observa a formação de um ventre e na sua extremidade fechada um nó.

Embora a velocidade som se aproxime de 340 m/s, ela pode variar em função da temperatura, pressão e umidade e do ambiente que envolve o som (nosso caso, um tubo cilíndrico de vidro)
6. Com base nos seus conhecimentos, selecione uma situação para determinar a velocidade média do som nas condições do laboratório.
7. Discuta uma forma de medir as frequências de ressonância do tubo. Execute as medidas necessárias e anote-as.

5. Discussão

I. De quais grandezas dependem as frequências de ressonância, do fundamental e dos harmônicos, de um tubo cilíndrico fechado em uma das extremidades (aberto em ambas)?
II. Utilizando as determinações obtidas no ítem 6, analise dois a dois os valores de frequência de ressonânica para determinar a fundamental e, assim, a relação destas frequências com inteiros, n. Trace em papel milimetrado o gráfico de fn versus n. Determine seu coeficiente angular e dê seu significado físico.
II. Use o valor da temperatura ambiente para determinar o valor “teórico” da velocidade do som no ar e com ela calcule o valor esperado, “teórico”, da frequência fundamental do tubo usado.
III. Relacione suas observações, do ítem 2, e compare com o que seria esperado para uma onda estacionária formada no tubo. Cite/explique a origem de eventuais discrepâncias. Qual informação é obtida pela configuração do pó de cortiça na ressonância? Anexe os esboços, ilustrando as explicações.

Experimento 5: Difração de uma Fenda

1 – Introdução

Podemos falar do fenômeno ondulatório da difração como o fenômeno definido pela mudança de trajetória que os raios luminosos sofreram, quando estes, encontram obstáculos para se propagar. Diferentemente da interferência quando um padrão pode surgir a partir da combinação de duas ondas. A difração de uma maneira geral é o efeito de interferência de várias ondas luminosas causado pelos desvios da propagação da luz em relação ao que é previsto pela óptica geométrica. Um feixe de luz coerente, ao atravessar uma fenda muito estreita, produz num anteparo uma figura constituída de regiões iluminadas e escurecidas. Esse efeito ocorre sempre que as dimensões do obstáculo (fenda) forem comparáveis ao comprimento de onda da luz incidente. Nesses casos os raios de luz proveniente de diferentes regiões da fenda, devido à diferença de percurso, podem atingir um ponto do anteparo com fases distintas, causando interferência construtiva ou destrutiva nesse ponto. As regiões da figura gerada no anteparo onde ocorre interferência construtiva total são chamadas de máximos de difração (regiões claras), enquanto que as regiões nas quais ocorre interferência destrutiva total são chamadas de mínimos de difração (regiões escuras), como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Ilustração de resultado de difração em uma fenda simples e ao lado uma representação geométrica.

No caso da difração por uma fenda fina, ela pode ser observada com uma montagem experimental simples e explicada matematicamente com um modelo também simples e que permite extrair informações gerais acerca da difração. Considerando que se tivermos uma abertura da fenda de tamanho d e um comprimento de onda de luz λ, e fizermos algumas manipulações matemáticas usando informações geométricas da Figura 1, encontraremos que as posições de mínimos (regiões escuras) do padrão de difração podem ser encontradas a partir da seguinte expressão:

$$d \text{ sen } \theta = m\lambda \text{ (m = 1, 2, 3)} \qquad (1)$$

Este experimento consiste em possibilitar o aluno observar o fenômeno da difração usando uma composição experimental e através dos seus conhecimentos sobre difração de uma fenda, determinar o diâmetro de três fios (os fios nesse casso são considerados como uma fenda). [3]

2 – Objetivos

O objetivo principal desse experimento é observar o fenômeno da difração, e determinar o diâmetro de três fios, sendo um deles um fio de cabelo, um fio fino e outro fio grosso, utilizando um simples aparato.

3 – Materiais Utilizados

1. Lanterna laser, λ= (670±10) nm
2. Régua
3. Trena
4. 3 fios (fio de cabelo, fio fino e fio grosso)
5. Suporte de madeira para fio de cabelo

4 – Procedimento experimental

Primeiramente escolha um dos fios para iniciar o experimento. Prenda-o sob o suporte com ilustra a Figura 2.

1. Com a trena, meça a distância entre o suporte e o anteparo (que pode o quadro ou a parede da sala) representado pela letra *z* na Figura 1.

2. Em seguida, apague as luzes da sala e ligue o laser. Incida o laser sobre o anteparo e anote suas observações.

3. Em seguida, direcionando o feixe de luz de forma que o ilumine o centro do fio, sempre projetando em direção anteparo (similar ao da Figura 1). Veja que figura é formada no anteparo e anote.

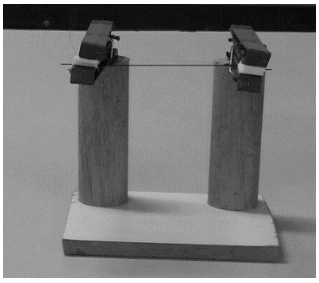


Figura 2. Ilustração de parte do aparato experimental utilizado.

4. Com o auxílio da régua ou trena, meça a distância *y*, onde *y* é a distância entre os dois máximos (equivalente a dois mínimos), na coleta dos dados, medimos a distância entre os dois primeiros máximos. Essa técnica reduz o erro na medida, pois o que é necessário, na realidade, é a distância entre o máximo central e o máximo que se deseja medir (primário). Essa técnica reduz o erro na medida, pois precisa da medida do máximo central com um dos primeiros máximos.

5. Repita o procedimento 4, para mais 4 distâncias distintas de *z* (distância entre o suporte e o anteparo). Anote os valores em uma tabela.

6. Repita os procedimentos 3 para o **segundo fio** observando e anotando a figura formada.

7. Repita os procedimentos 4-5 usando o **segundo fio**.

8. Repita os procedimentos 3 para o **terceiro fio** observando e anotando a figura formada.

9. Repita os procedimentos 4-5 usando o **terceiro fio**.

5. Discussão

I. Descreva detalhadamente as observações verificadas nos itens 2, 3, 6 e 8 e compare-as. Qual(is) o(s) principal(is) fator(es) que o fez (fizeram) vocês observarem as diferenças nas figuras.

II. A partir da figura geométrica apresentada na Figura 1 e a equação 1 deduza uma equção para que seja utilizada para calcular o diâmetro dos fios.

III. Usando a equação desenvolvida no item anterior, determine o diâmetro dos 3 fios a partir dos dados coletados nos itens 4,5, 7 e 9. Não esqueça de determinas as incertezas.

Experimento 6: Espelhos e Lentes Reflexão e Refração da Luz

1 – Introdução

A reflexão e a refração da luz são fenômenos ópticos referente a forma como a luz se propaga. Quando a luz se propaga em um meio e incide sobre uma superfície formada por outro meio, ela pode ser refletida e refratada. Ao mudar o meio, a luz sofre uma mudança de direção, sendo uma parte do feixe ainda se propagando no meio no primeiro meio, que é o feixe refletido, e outra parte que passa a propagar-se no segundo meio, que é o feixe refratado, como mostra a figura 1. [1]

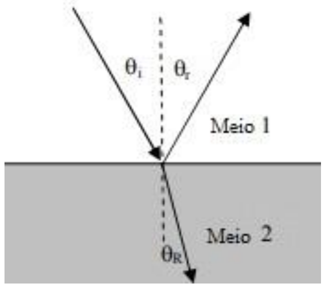


Figura 2: reflexão e refração de um raio luminoso ao propaga-se em meios distintos com $n_2 > n_1$

Onde θ_i é o ângulo de incidência, θ_r é o ângulo de reflexão e θ_R é o ângulo de refração. Quando um raio de luz incide sobre uma superfície fazendo um ângulo θ_i com a reta normal, na interface entre dois meios distintos, tem-se um raio refletido fazendo um ângulo θ_r com a normal, de maneira que $\theta_i = \theta_r$. Obtendo assim a lei da reflexão. [2]

Quanto ao feixe refratado, existe uma relação entre o seno dos ângulos de incidência θ_i e de refração θ_r, que também está associado à normal à superfície no ponto, o qual o feixe é incidido, ou seja:

$$n_1 sen\ \Theta_i = n_2\ sen\Theta_R \qquad (1)$$

Onde n_i é o índice de refração do meio i.

Essa associação entre o ângulo de incidência e o ângulo de refração é denominada lei de Snell, no qual o índice de refração pode ser expresso em função da velocidade que o feixe passa pelo meio.

$$n_{2\ 1} = \frac{v_2}{v_1} \qquad (3)$$

onde, $v = \frac{c}{n}$

com c = 3x10^8 m/s é a velocidade da luz no vácuo e v é a velocidade de propagação da luz no meio cujo índice de refração absoluto, n.

Quando $n_2 > n_1$, diz-se que o meio 2 é mais refringente que o meio 1, então temos que o seno do ângulo de incidência é maior que o do seno do ângulo de refração e o raio refratado deve se aproximar da reta normal para ângulo de incidência não nulo.

Quando o meio $n_2 < n_1$, o meio n_1 é mais refringente, fazendo com que o raio refratado deve afastar-se da reta normal. Quando isso ocorre, haverá um determinado ângulo de incidência crítico Θ_c, que produzirá um raio refratado formando um ângulo máximo, de 90º e, para ângulos maiores que Θ_c não haverá refração dos raios, mas haverá a reflexão desses raios, ocasionado na reflexão total da luz incidente. O ângulo critico Θ_c é definido a partir da Lei da refração, onde $\Theta_R = 90°$. [1]

$$n_{21} = sen\Theta_c \qquad (4)$$

2 – Objetivos

Estudar o comportamento de um feixe luminoso quando refletido e quando refratado em diversos tipos de superfícies, de diferentes objetos ópticos, e determinar as relações entre os ângulos de reflexão e de refração com o ângulo de incidência.

3 – Materiais

Os materiais utilizados para a realização do experimento foram:

1. Disco graduado;
2. Espelhos plano e cilíndrico;
3. Trapézio de acrílico;
4. Semi-cilindro de acrílico;
5. Prisma de acrílico;
6. Lentes de acrílico;
7. Fonte luminosa e sua alimentação;
8. Fenda retangular simples e múltipla;
9. Banco óptico;
10. Suportes móveis de banco óptico.

A figura a seguir mostra o experimento.

Figura 3- Ilustração do experimento.

4 – Procedimento experimental

1. Monte o disco graduado com sua superfície na horizontal.
2. Ligue a fonte de luz na sua alimentação e instale-a, com a fenda simples, de modo a desenhar o percurso do feixe luminoso sobre o disco.
3. Ajuste a fonte luminosa de modo a obter um feixe bem estreito e nítido. O feixe deve passar pelo centro do disco.

1a parte: Reflexão

4. Posicione o espelho plano no centro do disco graduado e faça incidir a luz sobre sua superfície. Varie o ângulo de incidência e determine o ângulo de reflexão correspondente. Anote em uma tabela os valores de pelo menos 9 determinações.
5. Substitua o espelho plano por um pedaço de papel branco e observe e anote as diferenças em relação à reflexão obtida com o espelho plano.

6. Posicione o espelho convexo no centro do disco e varie novamente o ângulo de incidência do feixe e observe e anote o que ocorre com o feixe refletido. Em seguida faça o mesmo usando o espelho côncavo.
7. Substitua a fenda simples pela fenda múltipla. Ajuste novamente o conjunto fenda-luz de forma a obter feixes aproximadamente paralelos e que incidam com um ângulo de zero graus no espelho côncavo, e depois no convexo.
Verifique o que ocorre com os raios refletidos. Faça esboços de suas observações.

2a parte: Refração
8. Troque o espelho pelo acrílico em forma de trapézio e a fenda múltipla pela simples. Faça incidência de zero grau em um dos lados paralelos do trapézio e observe o trajeto do raio luminoso.
8. Varie o ângulo de incidência e observe o que ocorre com o trajeto do raio luminoso. Procure identificar os raios refletidos e refratados.
9. Posicione o semi-cilindro de acrílico com a face plana alinhada com a guia que passa pelo centro do disco. Incida o feixe na superfície circular e varie o ângulo de incidência. Observe o trajeto do feixe, identificando onde ele é desviado, e anote em uma tabela o ângulo de refração para vários ângulos de incidência.
10.Determine o ângulo crítico de incidência para o qual é obtida a reflexão total na superfície plana do semi-cilindro de acrílico.
11. Troque o acrílico semi-cilndrico pelo de formato de lente biconvexa e a fenda única pela múltipla. Ajuste novamente o conjunto fenda-luz de forma a obter um conjunto de feixes paralelos. Observe o trajeto dos raios após atravessar a lente. Faça um esboço do observado.
12. Repita o procedimento anterior com a lente bicôncava.

Observação: As observações visualizadas dos feixes devem ser descritas no relatório manualmente.

V - DISCUSSÃO
I. Faça um gráfico dos ângulos de incidência contra os ângulos de reflexão medidos no espelho plano e determine a relação entre eles. Qual lei é inferida?
II. Relate e explique as observações feitas na realização dos itens 5, 6 e 7. Anexe, como ilustração, esboços das observações.
III. Defina foco de um espelho cilíndrico, distinguindo, foco objeto de foco imagem e foco real de virtual.
IV. Relate e explique as observações feitas na realização dos itens 8 a 13. Anexe, como ilustração, esboços das observações.
V. Faça um gráfico do seno do ângulo de incidência versus o seno do ângulo de refração e determine a relação entre eles. Determine, a partir do gráfico, o índice de refração relativo entre o ar e o acrílico. Qual lei é inferida?
VI. Utilizando o valor experimental do ângulo crítico obtido, calcule o índice de refração relativo entre o ar e o acrílico. Compare com o resultado anterior. Qual a importância do formato da peça de acrílico, e seu posicionamento relativo ao percurso da luz, na realização dos itens 10 e 11?
VII. Defina foco de uma lente, distinguindo, foco objeto de foco imagem e foco real de virtual.
VIII. Discuta a refração em um meio não-homogêneo. O que ocasiona as miragens?

Experimento 7: Associação de espelhos planos

1–Introdução

Espelho plano é uma superfície plana na qual ocorre reflexão total, que significa dizer que quando incidimos luz em uma superfície e essa luz retorna ao meio do qual ela estava se propagando como ilustra a Figura 1a. Os espelhos planos possuem inúmeras utilidades, desde o uso em casa aos componentes sofisticados.

As principais propriedades de um espelho plano são a simetria entre os pontos objeto e imagem. Devido a simetria, sempre que houver aproximação ou afastamento entre o objeto e o espelho, também haverá aproximação ou afastamento entre a imagem e o espelho.

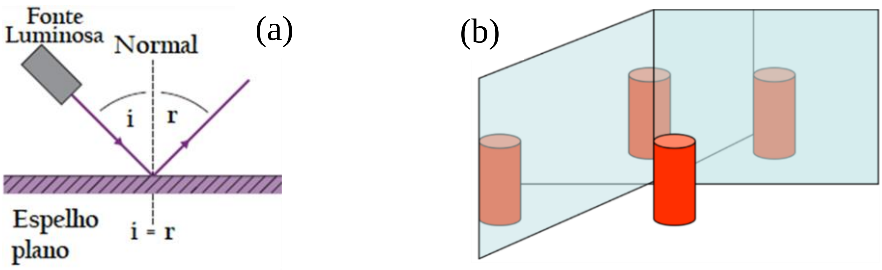


Figura 4: Representação da reflexão (a) em um espelho plano e (b) dois espelhos planos com um ângulo de aproximadamente 90º.

A imagem formada por um espelho plano é determinada através do prolongamento dos raios refletidos, e elas podem ser: real ou imaginária. Se o objeto for real, a imagem é virtual; e se o objeto for virtual, a imagem é real.

São citadas a seguir quatro características da imagem:

- simétrica ao espelho: na qual o objeto e a imagem estão a mesma distância do espelho;
- direita: possui mesma orientação que o objeto;
- enantiomorfa: inverte os lados, direito passa a ser esquerdo;
- natureza oposta à do objeto: quando um é real o outro é virtual.

Para determinar a imagem em um espelho plano, podemos observar a Figura 1b, na qual vemos um objeto que parece estar atrás do espelho. Isso ocorre, pois, o prolongamento do raio refletido passa pelo ponto imagem virtual, "atrás" do espelho. No entanto, **unindo-se dois espelhos** planos podemos obter a **formação de múltiplas imagens** a partir de um único objeto. Dois espelhos planos podem ser associados de forma que suas superfícies refletoras formem um ângulo α entre eles, com $0^o < \alpha < 180^o$. Nesta associação ocorrem várias reflexões e as imagens são formadas “atrás” de ambas as superfícies refletoras. O número de imagens é resultado de várias reflexões nos dois espelhos, e aumenta conforme diminui o ângulo entre eles. A quantidade de imagens formadas, n, por um objeto colocado entre os dois espelhos, pode ser determinada pela equação:

$$n = \frac{360°}{\alpha} - 1 \qquad (1)$$

2 – Objetivos

Demonstrar de maneira experimental a determinação do número de imagens formadas em uma associação de dois espelhos planos.

3 – Materiais

- 2 espelhos planos;
- 1 suporte para o espelho com um transferidor;
- 1 objeto (para formação da imagem).

4 – Procedimento experimental

1. Monte os espelhos conforme ilustrado na Figura 1b considerando um ângulo de 180º, anote sua observação.
2. **Sem estimar** a quantidade de imagens, varie os ângulos conforme a tabela 1 e anote o número de imagens visualizadas para cada ângulo.

Tabela 1: Número de imagens com relação à variação do ângulo

Ângulo α (°)	σ_α (°)	N° de imagens
15		
30		
45		
60		
75		
90		
120		
180		

V - DISCUSSÃO

I. Faça um gráfico do número de imagens formadas em função do inverso do ângulo e determine os coeficientes angular e linear da curva e compare-os com os valores descritos na equação 1.

Experimento 8: Refração e Dispersão da Luz Branca

1 – Introdução

A luz branca comum é uma superposição de ondas com comprimentos de onda que não conseguimos separar quando observamos, e ela se estendem em todo o espectro visível com intensidade aproximadamente iguais. A velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos comprimentos de onda, mas a velocidade em uma substância material é diferente para diferentes comprimentos de onda [sears]. Portanto o índice de refração para a luz depende do seu comprimento de onda independente do seu meio de propagação. Isso significa dizer que no caso de um feixe de luz com vários comprimentos de onda, o ângulo de refração será diferente para cada raio, ocorrendo assim um espalhamento da luz para cada comprimento de onda. Esse espalhamento é conhecido como dispersão cromática. No caso particular em que o feixe luminoso possui apenas um comprimento de onda, a dispersão não é observada[halliday].

Figura 1. Dispersão da luz por um prisma.

A Figura 1 mostra um raio de luz branca incidente em um prisma. O desvio (mudança de direção) produzida pelo prisma aumenta com o aumento do índice de refração e diminuição do comprimento de onda. Com relação ao feixe incidente, a luz violeta é a mais desviada, e o vermelho é a que desvia menos. Quando sai do prisma, a luz é espalhada em um feixe em forma de leque, como mostrado na figura. Essa quantidade de dispersão depende da diferença entre os índices de refração para luz violeta e para luz vermelha. Nesse caso, para melhor vermos a dispersão da luz branca é utilizarmos materiais com maior índice de refração para que a dispersão fique mais evidente, como é o caso de materiais que possuem um índice de refração maior ou igual ao acrílico.

Neste experimento iremos utilizar a técnica da interferência de Young para obtermos os comprimentos de onda da luz branca que será decomposta ao incidi-la sob uma rede de difração.

2 – Objetivos

Determinar o comprimento de onda médio das radiações luminosas que compõem a luz branca, utilizando uma rede de difração.

3 – Materiais

Os materiais utilizados para a realização do experimento foram:

1. Banco Ótico Linear;
2. Fonte de luz branca;
3. Cavaleiro magnético;
4. Mesa suporte acoplável ao cavaleiro;
5. Rede de difração (1000 fendas/mm);
6. Painel ótico;
7. Régua branca com fixador magnético e escala de 350-0-350 mm;
8. Trena;

Figura 1- Ilustração do aparato experimental a ser montado com seus componentes.

4 – Roteiro experimental

1. Monte o aparato conforme a Figura 1. A indicação de cada componente obedece a numeração da lista de materiais utilizados (item 3).
2. Remova a grade de difração e ligue a lanterna para que o feixe luminoso incida sobre o anteparo. Lembre-se de focalizar o feixe movimentando para frente ou para trás os parafusos que ficam nas laterais da lanterna. Apague as luzes da sala e anote suas observações.
3. Coloque a grade de difração no local indicado na Figura 1 e anote suas observações.
4. Ajuste a régua (anteparo) tal que o feixe luminoso se aproxime do centro da régua, sempre colocando-o perpendicular a régua. Isso facilitará a observação máximos de cada cor fiquem equidistante do centro da régua.
5. Meça a distância da fenda ao anteparo e anote o valor.
6. Identifique as sete cores que compões a luz branca. E utilizando, aproximadamente, o centro de cada cor, meça a distância do ponto central da régua ao centro de cada e anote os valores dessas distâncias em uma tabela (não esqueça de anotar a incerteza!).

5. Discussão

I. Descreva detalhadamente as observações verificadas nos itens 1 e 3 e compare-as. Qual(is) o(s) principal(is) fator(es) que o fez (fizeram) vocês observarem as diferenças nas figuras.

II. A partir da Figura 1 e da descrição das informações das dos itens 5 e a equação do **experimento de difração de uma fenda** (equação 1) deduza uma equação para que seja utilizada para calcular os comprimentos de ondas das cores observadas. Nesses cálculos deve considerar o valor rede de difração utilizada no experimento.

Experimento 9: Interferômetro de Michelson-Morley

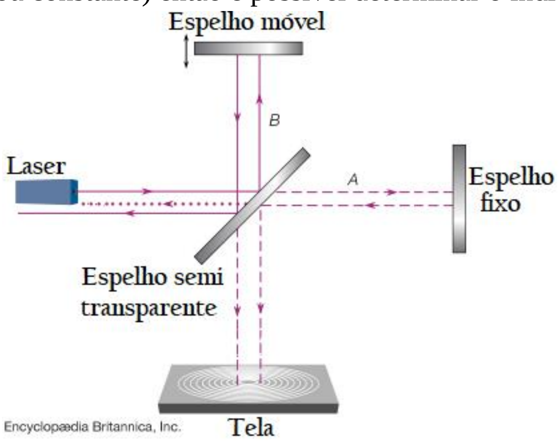
1 – Introdução

O interferômetro idealizado por *Albert Michelson* representa uma das configurações ópticas mais comuns para experimentos envolvendo interferência óptica. *Michelson*, em conjunto com *Edward Morley*, utilizou este tipo de aparato para investigar a influência do "éter luminoso" sobre a velocidade da luz [1]. O evento, realizado entre 1880 e 1890 e conhecido como experimento de *Michelson-Morley* deixou clara e inexistência de um meio especial para a propagação da luz e serviu de inspiração para a teoria da relatividade especial, levada a rigor por *Albert Einstein* em 1905 [2]. Em reconhecimento às suas contribuições científicas, *Michelson* foi agraciado com o Prémio Nobel de Física em 1907 [3].

O arranjo experimental de Michelson consiste de um laser, um separador de feixe (espelho semi- transparente) e de dois espelhos planos (um fixo e um móvel) posicionados perpendicularmente conforme ilustra a Figura 1. Vale ressaltar que o espelho móvel pode ser deslocado por meio de um parafuso micrométrico.

Um suporte entre o espelho fixo e o semitransparente aceita uma célula de medição de análise de gases. Quando lâmpadas espectrais, em vez de laser, são usadas como fonte de luz com filtros apropriados, o interferômetro também pode ser usado para determinar comprimentos de coerência. Além disso, o índice de refração adequado de líquidos, de ar e de outros gases pode ser determinado.

No interferômetro de Michelson, a luz é dividida em dois feixes por um vidro semitransparente (divisão de amplitude), reflete nos dois espelhos e passa novamente por meio da placa de vidro para produzir fenômenos de interferência atrás dele, conforme ilustra a Figura 1. Os feixes de luz refletem e voltam a se recombinar sobre um anteparo. O resultado deste processo é a formação de um padrão de interferência da radiação, o qual é sensível à diferença de caminho óptico entre os dois feixes de radiação. Como o caminho óptico é determinado pelo produto entre o índice de refração (n) e o caminho geométrico (d), é claro que se muitos feixes atravessam um meio de índice de refração n, é possível medir o caminho óptico d. Por outro lado, se o caminho d é igual (ou constante) então é possível determinar o índice de refração n.



Desta forma, o interferômetro de *Michelson* (assim como qualquer interferômetro) pode ser usado para determinar: variações do caminho geométrico (e óptico), bem como o índice de refração do meio de propagação da radiação.

Baseado nos diferentes comprimentos de caminho percorridos pelos dois feixes de luz, a diferença de fase é:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} 2d.cos\theta$$

onde λ é o comprimento de onda da luz do laser usada no experimento.
Sendo a intensidade proporcional ao quadrado da amplitude da onda, a distribuição de intensidade, para $E_{01}=E_{02}=E_0$ de acordo com a eq.(31), é dada por:

$I = E^2 = 4.E_{max}^2.\ 2cos^2(\delta/2)$ (34)
É fácil observar (33) que os máximos ocorrem quando $\delta = (2\pi)$ ou é um múltiplo de 2π, *i.e.*, $\delta = 2\pi m$, com $m=0,1,2,$ ... Também de (32) obtém-se θ_m, a posição angular de cada máximo

$$2dcos\theta_m = m\lambda$$

onde $m = 1, 2, 3,$ *..(ordem da franja).* Para valores fixos de m e d, círculos são produzidos desde que θ seja constante.

2 – Objetivos

Determinar o comprimento do luz laser de HeNe, comparando com o valor estaelecido de fábrica, bem como determinar o índice de refração do ar.

3 – Materiais Utilizados

Interferômetro de Michelson e Morley
1 laser de HeNe ($\lambda =$ *nm*)
Lentes, espelhos, suportes, gás e anteparo.

4 – Procedimento Experimental

Monte o arranjo experimental similar ao ilustrado na Figura 1, sem colocar a lente no caminho óptico. O feixe de luz incide sobre o espelho semitransparente posicionado a um ângulo de 45º em relação à direção do feixe que é dividido agora em dois feixes, estes são refletidos pelos espelhos *fixo e móvel* e voltam a se sobreporem no anteparo.

Obs.: O alinhamento óptico do sistema é uma parte importante do experimento. Pois as franjas de interferência só serão observadas se o sistema estiver alinhado corretamente.

Para o alinhamento adequado, faça o feixe refletido no espelho fixo voltar diretamente pelo mesmo caminho e incidir novamente na saída do Laser. Somente após este ajuste, faça o mesmo com o feixe refletido pelo espelho móvel. Somente após estes dois procedimentos, coloque a lente *L* no caminho óptico a aproximadamente 2 cm do espelho semitransparente. Quando tudo isto for feito, observe as franjas de interferência no anteparo, similares a anéis.

Para medir o comprimento de onda, o parafuso micrométrico conectado ao espelho móvel deve ser girado lentamente para uma posição em que o centro dos círculos torne-se escuro. O parafuso micrométrico deve em seguida ser girado sempre em um mesmo sentido e os períodos de claro-escuros produzidos deverão ser contados. Anote na Tabela 1 os valores *d* e *m*.

Tabela 1. Valores da distância *d* entre os espelhos e de *m* (número de franjas claras do centro do anel)

Parâmetros	Medidas							
d								
M								

5 – Discussão

1. Explicar o que é caminho geométrico e caminho óptico. 2. Que é luz coerente? 3. O que é um laser? 4. Cite três principais características de um Laser.
2. Faça um gráfico *d x m*; cento e cinquenta mudanças claro-escuro do anel de interferência devem ser consideradas. Obtenha o comprimento de onda a partir deste resultado.